

シングルパス SAR 画像を用いた3次元計測に関する研究

著者	菱沼 将太
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	274-275
発行年	2018-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/00123539

修士学位論文要約（平成30年 3 月）

シングルパス SAR 画像を用いた 3 次元計測に関する研究

菱沼 将太

指導教員：青木 孝文

3D Measurement Using Single-Pass SAR Images

Shota HISHINUMA

Supervisor: Takafumi AOKI

Elevation measurement using Synthetic Aperture Radar (SAR) is one of fundamental techniques in remote sensing. The cross-track Interferometric SAR (InSAR), which is the most popular technique of elevation measurement using SAR, uses the phase differences between the signals received by SAR antennas. A single platform with two antennas can be used in single-pass InSAR. InSAR requires Ground Control Points (GCPs) to measure absolute elevation values, although it is a time-consuming and cost-intensive task. Addressing the above problem, this paper proposes an elevation measurement method using two SAR intensity images taken by a single-pass airborne SAR system. A projection model is derived by applying the principle of stereo vision to elevation measurement from SAR images. Phase-Only Correlation is employed to obtain accurate correspondence between two SAR images having below 1-pixel disparities. Through the experiment using SAR images, we demonstrate that the proposed method exhibits efficient performance in elevation measurement.

1. はじめに

合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) は、人工衛星や航空機などに搭載されたアンテナから電磁波を照射・受信し、受信信号から計測対象の観測画像を生成するイメージングレーダである¹⁾。遠隔から広範な領域の観測を行うことができる SAR は、人が立ち入ることが困難な危険地帯等の観測に特に有効である。そのため、SAR を用いた 3 次元計測は、地球規模の標高モデルの生成や災害現場の 3 次元的な被害把握などに活用されている。しかしながら、従来の SAR を用いた地形の 3 次元計測手法は、標高値の取得や計測精度の向上のために、地上基準点 (Ground Control Point: GCP) が必要となる。GCP は、人の手による現地調査や、対象領域の既存の 3 次元データを参照することで取得される。そのため、災害時のように、現地調査が危険である場合や、災害に伴う地形変動により既存の 3 次元データを参照できない場合は GCP を利用できない。また、被害状況が刻一刻と変化する災害時は、一回の飛行による迅速な観測が求められる。そこで、本論文では、シングルパス SAR 画像から地形の 3 次元計測を行う手法を提案する²⁾。シングルパス SAR 画像の投影モデルを定義することで、画像間の対応関係から標高値を求めることができる。シングルパス SAR 画像間の視

差が極めて小さいため、サブピクセル精度で画像対応付けを行うことができる位相限定相関法を用いる。航空機搭載 SAR で取得された SAR 画像を用いた精度評価実験を通して、提案手法の有効性を示す。

2. シングルパス SAR 画像からの 3 次元計測

シングルパス SAR による観測は、航空機に取り付けられた 2 つのアンテナのうち、一方から電磁波を照射し、その反射波を両方のアンテナで受信することで行われる。それぞれの受信信号から生成された SAR 画像は、図 1 に示すように投影モデルが異なる²⁾。マスター側は、マスターアンテナを中心とした円と基準面との交点 X_m に、スレーブ側は、2 つのアンテナを焦点とした楕円と基準面との交点 X_s に投影される。提案手法では、対応点ペア X_m と X_s および観測情報から円と楕円を決定し、その交点である 3 次元点を求める。図 1 における緑線で示した x - z 座標系において、円と楕円の方程式は以下のように記述される。

$$\left(x - \frac{B}{2}\right)^2 + z^2 = r_m^2 \quad (1)$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (2)$$

ここで、円の半径 r_m は、次式で求められる。

$$r_m = \sqrt{(X_{0m} + X_m)^2 + Z_{0m}^2} \quad (3)$$

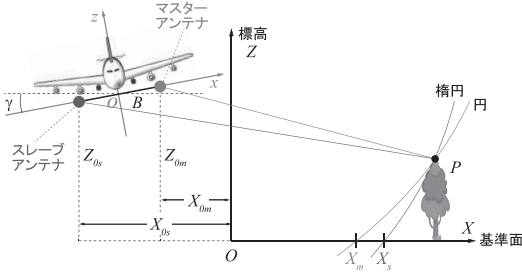


図1 シングルパス SAR の投影モデル

楕円の長半径 a と短半径 b は、次式で求められる。

$$a = \frac{r_s}{2}, \quad b = \sqrt{a^2 - \frac{B^2}{4}} \quad (4)$$

ここで、 B は、2つのアンテナ間の距離（基線長）である。また、 r_s は、楕円周上の点から2つの焦点までの距離の和であり、次式で求められる。

$$r_s = \sqrt{(X_{0m} + X_s)^2 + Z_{0m}^2} + \sqrt{(X_{0s} + X_s)^2 + Z_{0s}^2} \quad (5)$$

ここで、 Z_{0m} と Z_{0s} は、それぞれマスター側とスレーブ側のアンテナの高度であり、 X_{0m} と X_{0s} は、それぞれマスター側とスレーブ側のアンテナからレーダ座標系の原点までの水平距離である。式 (1) と式 (2) からプラットフォーム座標系における円と楕円の交点 (x, z) は、次式で求められる。

$$x = \frac{a^2 B - \sqrt{a^4 B^2 - 4a^2(a^2 - b^2)(b^2 + \frac{B^2}{4} - r_m^2)}}{2(a^2 - b^2)} \quad (6)$$

$$z = -\sqrt{b^2 \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)} \quad (7)$$

提案手法は、(i) パラメータの設定、(ii) 画像対応付け、(iii) 3次元計測の3つの処理で構成される。まず、SAR 画像と共に提供される SAR の観測情報（メタデータ）から、計測に必要なパラメータを設定する。次に、シングルパス観測で取得された2枚の SAR 画像間の密な対応付けを行う。画像間の視差が非常に小さいため、位相限定相関法³⁾を用いてサブピクセル精度で対応付けを行う。最後に、設定したパラメータ、画像間の対応関係、3次元計測の理論式から計測対象の3次元座標を算出する。

3. 精度評価実験

国土地理院が公開している数値標高モデル (Digital Elevation Model: DEM)⁴⁾ を真値とし、提案手法の

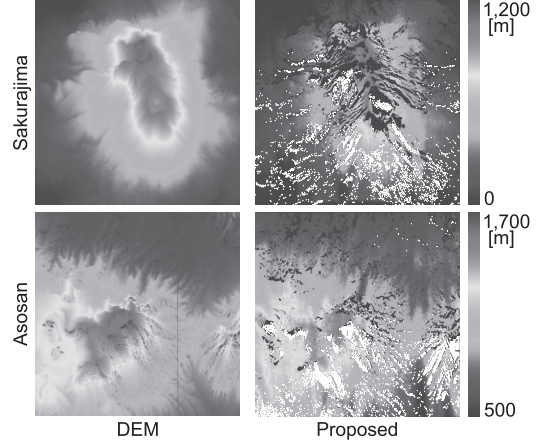


図2 標高マップ（左：真値，右：提案手法の結果）

表1 3次元計測誤差と計測点数

データセット	中央値 [m]	標準偏差 [m]	計測点数
Sakurajima	-13.62	49.52	1,676,430
Asosan	-11.05	43.19	1,657,220

3次元計測精度を評価する。本実験では、航空機搭載 SAR (Pi-SAR2)⁵⁾ によって取得された Sakurajima, Asosan の観測データを用いる。図2に計測結果の標高マップを、表1に計測誤差の中央値と標準偏差を示す。提案手法により、視差が最大でも1ピクセル程度であるシングルパス SAR 画像から3次元計測が可能である。提案手法は、観測にかかる時間とコストを大幅に削減できるため、災害時のように迅速な対応が求められる状況で有用である。

4. まとめ

本論文では、シングルパス SAR 画像間の対応関係に基づく3次元計測手法を提案した。実験を通して、提案手法が GCP を利用することなく標高値を取得することが可能であることを示した。

文献

- 大内和夫，リモートセンシングのための合成開口レーダの基礎，東京電機大学出版局，2004。
- S. Hishinuma, K. Ito, T. Aoki, J. Uemoto, and S. Uratsuka, "Elevation measurement from single-pass SAR images," Proc. Int'l Geosci. Remote Sens. Symp., pp.5662-5665, 2017.
- K. Takita, M.A. Muquit, T. Aoki, and T. Higuchi, "A sub-pixel correspondence search technique for computer vision applications," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E87-A, no.8, pp.1913-1923, Aug. 2004.
- "国土交通省 国土地理院," <http://www.gsi.go.jp/>.
- 梅原俊彦，浦塚清峰，小林達治，佐竹 誠，灘井章嗣，前野英生，増子治信，島田政信，"航空機搭載3次元高分解能映像レーダ (Pi-SAR) システムの開発，" 通信総合研究所季報，vol.48, no.2, pp.97-112, 2002.